

Yüksek Basınç Uygulamasının Et Kalitesi Üzerine Etkisi

Fatih ÖZ Mürkerrem KAYA

Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, 25240, Erzurum (fatihoz@atauni.edu.tr)

Geliş Tarihi : 29.09.2006

ÖZET : Yüksek basınç uygulaması (YBU) gıdayı güvenli kılan ve raf ömrünü artıran bir gıda işleme metodudur. YBU özellikle et endüstrisi için iyi bir potansiyele sahiptir. Bu çalışmada YBU'nun et proteinleri, etin gevrekleştirilmesi, et enzimleri, etin mikrobiyolojik kalitesi, etin lipid oksidasyonu, etin rengi ve faz değişimi üzerine olan etkileri verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek Basınç, Et, Et Kalitesi

The Effect of High Pressure Treatment on Meat Quality

ABSTRACT : High pressure treatment (HPT) is a method of food processing that makes food safer and extends its shelf life. HPT have especially a good potential for meat industry. In this review, it has been presented the effects of HPT on meat proteins, tenderization of meat, meat enzymes, and microbiologic quality of meat, lipid oxidation, and meat colour and phase transition.

Keywords: High Pressure, Meat, Meat Quality

GİRİŞ

Gıda sanayinde kullanılan katkı maddeleri ve ısı işleminin gıdalar üzerinde arzu edilmeyen bazı etkilerinin olduğu bilinmektedir. Ayrıca tüketicilerin doğala yakın gıdalar talep etmesi üzerine bilim adamları, gıdaların özelliklerinin geliştirilmesinde ve muhafazasında yeni arayışlar içerisine girmişlerdir. Son zamanlarda üzerinde durulan teknolojik işlemlerden biri de yüksek basınç uygulamasıdır (YBU). Yöntemin esası; ürünü çevreleyen ortamın sıkıştırılmasına dayanmaktadır. Ortam olarak gaz ve yağ kullanılabilmesine rağmen ekonomikliği, güvenilirliği, pratik kullanılabilirliği ve hacminde azalmanın az olması nedeniyle daha çok su tercih edilmektedir. Yöntem oda sıcaklığında çalışılabildiği gibi farklı sıcaklıklarda da çalışılabilmektedir. YBU'da işlem süresi kısadır ve aynı zamanda enerjiden de tasarruf edilmektedir. Çünkü istenen basınca ulaşıldığında pompa durdurulmakta ve valfler kapatılmaktadır. Sistemde oluşan basınç başka bir enerji girişine ihtiyaç duyulmaksızın muhafaza edilmektedir (Crehan vd. 2000). Gıdalara hidrostatik basınç uygulanması ürün içerisine basıncın sürekli olarak iletilmesine neden olmaktadır. İletilen basınç ürünün şekil ve geometrisinden bağımsız olduğu için bu basınca "izostatik basınç" adı da verilebilmektedir (Crehan vd. 2000; Hajós vd. 2004).

Gıda sanayinde çeşitli gıdaların işlenmesi ve korunmasında kullanılan bu yöntemde 100-1000 MPa, genellikle 100-600 MPa aralığında basınç uygulanmaktadır (Angsupanich ve Ledward 1998; Yetim vd. 2003; Hajós vd. 2004). YBU Japonya, Amerika ve bazı Avrupa ülkelerinde başta et ve su ürünleri olmak üzere, meyve suyu, reçel ve süt gibi birçok gıdada kullanılabilmektedir (Angsupanich ve Ledward 1998). YBU'nun etkisi post-mortem şartlar, kimyasal bileşim, pH, iyonik şiddet gibi etin

karakteristik özelliklerine ve teknolojik işlemler gibi faktörlere bağlıdır (Carballo vd. 2000).

YBU, etin enzimatik sistemi (Homma vd. 1994; Jung vd. 2000a), tekstür ve ultrayapı (Jung vd. 2000b), myofibriler proteinlerin jelatinizasyon özellikleri (Ikeuchi vd. 1992) ve mikrobiyal kalitesini olumlu yönde etkilemektedir (Cheftel ve Culioli 1997). YBU gerek mikrobiyal gelişimi ve gerekse de enzim aktivitesini belirli ölçüde sınırlayarak ürünlerin raf ömrünü artırmaktadır. Ayrıca etlerde gevrekleştirme ve faz değişimlerinin kontrolü amacıyla da kullanılan bu yöntem, aynı zamanda ürününün duyu özelliklerini de çok fazla etkilememektedir (Knorr 1993; Cheftel ve Culioli 1997; Hendrickx vd. 1998; Crehan vd. 2000; Garriga vd. 2004; Karakaya vd. 2004; Ma ve Ledward 2004; Ko vd. 2006).

Yüksek Basıncın Et Proteinleri Üzerine Etkileri

Proteinler yapılarında kovalent, disülfid ve hidrojen bağları ve diğer interaksiyonları bulundurmaktadır (Hendrickx vd. 1998). Bu bağların birçoğunun kırılması sonucu proteinler modifiye olmakta ve özelliklerinde önemli değişimler meydana gelmektedir. YBU kovalent bağları etkilemediği için primer yapı üzerine de etkisi bulunmamaktadır. Diğer taraftan çok yüksek basınç heliksel yapının oluşumunu sağlayan hidrojen bağlarının kırılmasına neden olarak sekonder yapıda değişimlere ve sonuçta geri dönüşümsüz denatürasyona yol açmaktadır. YBU proteinlerin tersiyer yapısının iyonik bağları, hidrojen bağları, hidrofobik interaksiyonlar gibi kovalent olmayan bağların yeniden düzenlenmesi ve/veya kırılması ile protein denatürasyonuna neden olmaktadır (Ko vd. 2006). İyonik bağların kırılması basıncın artmasından oldukça etkilenmektedir.

Hidrofobik interaksiyonlar üzerine basıncın etkisi oldukça karmaşıktır. 200 MPa üzerindeki basınçlarda önemli tersiyer yapı değişimleri gözlenmektedir. Kovalent ve kovalent olmayan bağları etkileyen termal uygulamaların aksine, oda sıcaklığında YBU sadece nispeten zayıf kimyasal bağları (hidrojen bağları, hidrofobik bağlar ve iyonik bağlar) kırmaktadır (Hendrickx vd. 1998; Jiménez-Colmenero 2002). Protein yapısındaki değişimler gıda proteinlerinin fonksiyonel özelliklerindeki değişimleri de beraberinde getirebilmektedir. Bu yüzden, gıdalara YBU yeni ürünler oluşturmak için kullanılabilir (Hendrickx vd. 1998). Genellikle oda sıcaklığında uygulanan düşük basınçlar (100–300 MPa) protein yapısında dönüşümlü değişikliklerle sonuçlanırken, 300 MPa üzerindeki basınçlar geri dönüşümsüz protein denatürasyonuna neden olmaktadır (Hendrickx vd. 1998; Ko vd. 2006).

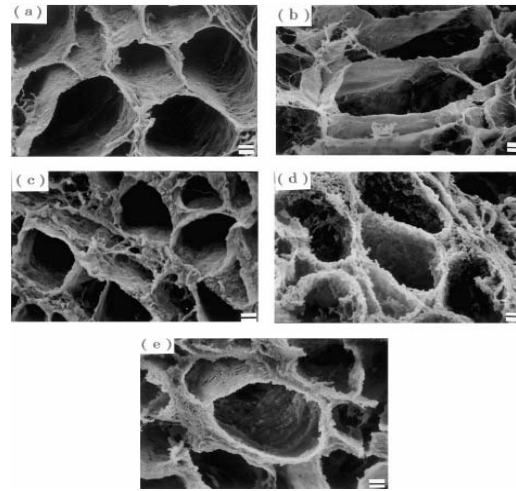
Basınç çoğu proteinin yapısını ve fonksiyonunu modifiye etmektedir. Örneğin hem et hem de balık etindeki myosin yüksek basınç ile denatüre olmakta ve sonuçta jel benzeri tekstür oluşmaktadır. Ayrıca substratın fazlaca olup olmaması veya basınç uygulamasının kendiliğinden enzim aktivasyonuna neden olmasına bağlı olarak, kas dokusundaki proteaz aktivitesi değişebilmektedir. Proteinin yapısındaki ve fonksiyonundaki tüm bu değişiklikler kas dokusunun tekstürünü etkilemektedir. Bu durumda protein yapısı üzerine basıncın etkisi, sıcaklığın etkisinden farklıdır. Isıl işlem ve basınç uygulanmış etlerin tekstürü çok farklı olabilmektedir (Angsupanich ve Ledward 1998).

İşlenmiş et ürünlerinde kas proteinlerinin jel oluşturma özelliğinin geliştirilmesi ve et sertliğinin kontrol altına alınabilmesi mümkün olduğu için et ve et ürünlerinde YBU üzerine pek çok çalışma yapılmıştır. Isıl işlem öncesi basınç uygulamasının model sistemlerde et proteininin jelleşme kabiliyetini artırdığı belirtilmiştir. Bununla birlikte domuz ve tavuk et hamurlarına uygulanan basınç altında ısıl işlemin daha zayıf jel/emülsiyon yapısına neden olduğu belirtilmiştir. Ürün özelliğini değiştiren mekanizma net olarak belli değildir, fakat bu durum basınç işleminin jelatinizasyon boyunca proteini termal degradasyondan kısmen koruduğu gerçeği ile ilişkilendirilmiştir. Bu ilişki jel yapılarının oluşumunu sınırlamakta ve et emülsiyonlarının tekstürel özellikleri ile su bağlama oranlarını etkilemektedir (Jiménez-Colmenero vd. 1998).

Hsu ve Ko (2001), Tilapia kaslarından ekstrakte edilen myosinin 500 atm basınçta denatüre olduğunu, 1000 atm basınçta myosinin agregasyona uğradığını ve çözünmez yapı oluşturmaya başladığını, 1500 atm üzeri basınç uygulamalarında ise myosinin çökerek jel oluşturduğunu belirtmiştir. Kamiyama vd. (2001) ise tavuk kasma 200 MPa'dan 600 MPa'a kadar

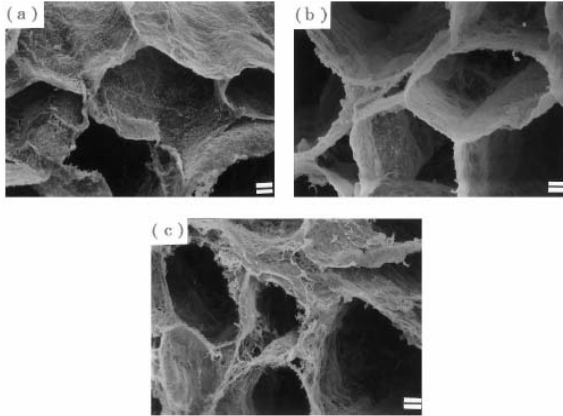
uygulanan basıncın myosinin degradasyonuna yol açtığını bildirmektedirler.

Etteki bağ doku endomisyum ve perimisyumdan oluşmaktadır. Endomisyum Şekil 1'de de gösterildiği gibi bal peteği benzeri yapı oluşturmaktadır. Genellikle bir demet kas lifi bireysel bir kılıfla birleşmekte ve perimisyum bu lif demetlerini çevrelemektedir. Bu dalgalı görünüm basınç uygulanmamış örneklerde (Şekil 1a) endomisyumun yüzeyinde açıkça görülmekte iken basınç uygulanan örneklerde görülmemektedir. Dalgalı yapının kaybolmasıyla ilgili olarak düzgün yüzeyin oluşumu 100 MPa basınç uygulanmış örneklerde görülmeye devam ederken (Şekil 1b) 200 MPa basınçta, membran üzerinde oluşan iyi tekstür kaybolmuş ve membranın kalınlığında bir artış gözlenmiştir (Şekil 1c). 300 MPa basınçta, membranda yırtılma ve pürüzlenme gözlenirken (Şekil 1d), 400 MPa basınç uygulanmış etin endomisyumunun bazı alanlarda balpeteği benzeri yapısının bozulduğu belirlenmiştir (Şekil 1e). Şekil 1'de gösterilen intramuskular bağ dokudaki basıncın neden olduğu yapısal değişikliklerin et gevrekleşmesinde önemli etkiye sahip olduğu net olarak belli değildir (Ueno vd. 1999).



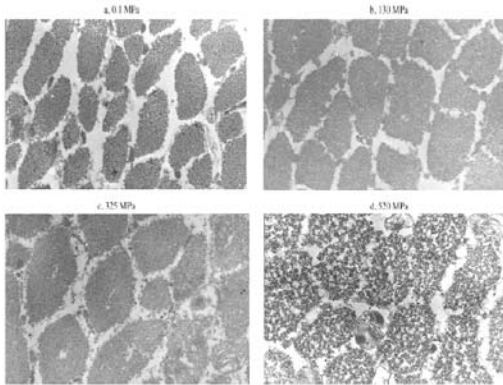
Şekil 1. Sığır iskelet kası intramuskular bağ dokusunun Scanning elektromikrografları. Her bir skala 10 µm. (a) basınç uygulanmamış (kontrol); (b) 100 MPa basınç uygulanmış; (c) 200 MPa basınç uygulanmış (d) 300 MPa basınç uygulanmış (e) 400 MPa basınç uygulanmış (Ueno vd. 1999).

Membran yüzeyindeki dalgalı yapının kaybolması, 100 MPa basınç uygulanan örnekte (Şekil 1b) olduğu gibi 7 ve 21 gün olgunlaştırılan örnekte de gözlenmiştir (Şekil 2). Böylece açıkça görülmektedir ki, YBU intramuskular bağ dokusunun membran yapısı üzerine olgunlaşmadan farklı bir etkiye sahiptir (Ueno vd. 1999).



Şekil 2. Olgunlaşmış sığır iskelet kası intramuskular bağ dokusunun Scanning elektromikrografları. Her bir skala 10 µm. (a) 7 gün olgunlaştırılmış (b) 14 gün olgunlaştırılmış (c) 21 gün olgunlaştırılmış (Ueno vd.1999).

Jung vd. (2000a) yaptıkları çalışmada basınç uygulamadıkları kontrol grubu sığır etlerinin myofibrilleri ince ve kalın filament ultrayapısı ve normal sarkomer düzeni gösterirken, 10°C'de 260sn 130 MPa basınç uygulamasının kontrole kıyasla farkının olmadığını bildirmişlerdir. 325 MPa basıncın da myofibril yapısında değişikliğe neden olmadığını fakat 520 MPa basınç uygulanan örneklerde myofibril yapılarının tamamen değiştiğini belirtmişlerdir (Şekil 3).



Şekil 3. Sığır *Biceps femoris* kasının enine kesitinin Transmission elektron mikrografları. A) Kontrol ($\times 16000$) B) 130MPa basınç uygulanan örnek ($\times 17200$) C) 325 MPa basınç uygulanan örnek ($\times 18300$) D) 520 MPa basınç uygulanan örnek ($\times 19000$), 260 sn, 10 °C (Jung vd. 2000a).

Yüksek Basıncın Etin Gevrekleştirilmesi Üzerine Etkileri

Genel olarak ette sertleşmeye aktomyosin sertliği ve temel sertlik neden olmaktadır. Aktomyosin sertliği myofibriler proteinlerden kaynaklanan sertliği oluştururken, temel sertlik bağ doku ve diğer stroma proteinlerin varlığından ileri gelmektedir (Ueno vd. 1999; Ma ve Ledward 2004).

Asıl olarak hidrojen bağları ile stabilize olan kollajenin basınçtan çok az etkilendiği düşünülmektedir. Et YBU'ya maruz bırakıldığında gözlenen tekstürel özelliklerdeki değişimden asıl olarak kontraktıl myofibriler proteinlerin sorumlu olduğu belirtilmektedir (Ma ve Ledward 2004). Dolayısıyla YBU'dan sonra bağ doku, etteki gevrekleşmeyi sınırlayabilmektedir (Ueno vd. 1999).

Etin olgunlaşması boyunca ette gevrekleşme meydana gelmektedir. Bu gevrekleşme prosesinin proteolitik enzimler tarafından katalizlenen farklı kas proteinlerinin hidrolitik parçalanması nedeniyle olduğu düşünülmektedir. Genelde cytokeletal proteinlerin degradasyonu, gevrekleşmenin artmasına neden olmaktadır (Bertram vd. 2004). YBU'nun lizozomlardaki proteolitik enzimlerin serbest kalışını artırdığı ve dolayısıyla gevrekleşmenin arttığı bildirilmektedir (Bertram vd. 2004).

YBU ette asıl olarak üç temel değişikliğe neden olmaktadır. Bunlar; enzimatik, protein modifikasyonları (asıl olarak myofibrillerde modifikasyon) ve yapısal modifikasyonlardır. Et gevrekleşmesi farklı ultrayapısal değişimlerin sonucu olarak gerçekleşmektedir. Ultrayapısal değişimler sırasında, basınç A-bandında değişimlere ve gap filamentlerinin zayıflamasına yol açmaktadır. Ayrıca I-bandı agregasyona uğramakta, bütünlüğü bozulmakta ve Z-çizgilerinde kırılmalar meydana gelebilmektedir. Böylece YBU, normal gevrekleşmeyi interfere etmektedir. Asıl ultrayapısal değişimler konnektin ve nebulin filamentlerinin ayrılması ile Z-çizgilerinin zayıflaması, desmin moleküllerinin fragmentasyonu ile intermediate filamentlerin zayıflaması ve endomisyum ve perimisyumun modifikasyonudur. Bununla birlikte, sarkomerin kontraksiyon durumu ve lif çapının da gevreklik ile ilgili olduğu belirtilmektedir (Jung vd. 2000a). Jung vd. (2000a, 2000b, 2000c) 100–600 MPa aralığında basınç uygulanan post-rigor etin gevrekliğinin artmadığını, fakat daha yüksek basıncın ette ultrayapısal modifikasyonlara neden olduğunu belirtmişlerdir.

Jung vd. (2000c), 520 MPa'da 260 sn 10°C'de YBU tatbik edilmiş etlerin Warner-Bratzler shear değerinin kontrole kıyasla önemli oranda arttığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar post-mortem 2. günde kontrole göre basınç uygulanan örneklerin sarkomer uzunluğunun %20 oranında azaldığını belirlemişlerdir. Pre-rigor aşamasında basınç uygulanan ette, sarkoplazmada Ca^{+2} iyonlarının konsantrasyonu artması nedeniyle sarkomerde kısalma olduğunu, etin lizozomal enzim aktivitesinin arttığını ve pH'nın düştüğünü belirlemişlerdir. Ayrıca basınç uygulanmış örneklerde, 2 ve 14 gün olgunlaştırılan etlere göre pişirme kaybının daha yüksek olduğunu da belirtmişlerdir. Sonuç olarak YBU'nun sığır kaslarında lizozomal enzim

aktivitesinde önemli bir artışa neden olduğunu, fakat uygulamanın et gevrekliğini geliştirmediğini ve olgunlaşma süresini kısaltmadığını belirtmişlerdir (Jung vd. 2000c).

Yüksek Basıncın Enzimler Üzerine Etkileri

Enzimler proteinlerin özel bir sınıfıdır. Protein denatürasyonu konformasyonel değişikliklerle ilgili olduğu için enzimin fonksiyonallığı da değişebilmektedir. Düşük basınçların (~100 MPa) bazı enzimleri aktive ettikleri, ancak bu stimüle edici etkinin sadece monomerik enzimler için söz konusu olduğu belirtilmektedir. Diğer taraftan daha yüksek basınç genellikle enzim inaktivasyonuna neden olmakta, inaktivasyon enzim tipi, pH, ortamın kompozisyonu, sıcaklık gibi faktörlere bağlı olmaktadır. Örneğin et teknolojisi açısından önemli bir enzim olan lipazın basınç stabilitesinde önemli farklılıklar mevcuttur. Bir araştırmada lipazın 1100 MPa basınca kadar stabil olduğu belirtilirken, başka bir çalışmada ~600 MPa basınçta inaktivasyonun mümkün olduğu belirtilmiştir (Hendrickx vd. 1998).

Genel olarak kastaki aroma bileşenlerinin, kasın belirli bileşenlerinin proteolitik olarak parçalanması nedeniyle olgunlaşma boyunca arttığı kabul edilmektedir. Özellikle kesimden sonra, lizozomal membranların parçalanması nedeniyle lizozomlar serbest hale gelmekte ve myofibriller yapının proteolizi ile olgunlaşma teşvik edilmektedir. Myosin ve aktinin degradasyonunda katepsin B ve D'nin aktif olduğu belirtilmektedir. Ayrıca katepsin L'nin myosin, aktin, α -aktinin, troponin T ve troponin I'yı parçaladığı, fakat troponin C veya tropomyosine ise etki edemediği belirtilmiştir. Katepsin H'nin myosine karşı katepsin B'den daha büyük bir spesifik aktiviteye sahip olduğu belirtilmektedir (Homma vd. 1994).

Asit fosfataz aktivitesi, kasa uygulanan 500 MPa basınca kadar artış göstermiştir. 500 MPa'da bu enzimin nispi aktivitesinin kontrol grubuna göre 3,5 kat fazla olduğu tespit edilmiştir. Katepsin B, D ve L'nin aktiviteleri 400 MPa'a kadar artmış sonra azalmıştır. Katepsin D aktivitesinin 500 MPa basınçta kontrol grubunun aktivitesinin yaklaşık %60'ı kadar olduğu belirlenmiştir. 100 MPa'a kadar katepsin H ve aminopeptidaz B'nin aktiviteleri kontrol grubunun aktivitelerinden farklı değilken, bu basınç seviyesinin üstünde basıncın artması ile giderek azalmıştır. Bu sonuçlar katepsin B, D, L ve asit fosfataz aktivitelerinin basınç uygulaması ile arttığını göstermektedir. Öte yandan katepsin H ve aminopeptidaz B'nin basınca karşı dirençli olmadığı belirlenmiştir (Homma vd. 1994). Angsupanich ve Ledward (1998) proteaz aktivitesinin basıncın 200 MPa üzerine çıkması ile azaldığını belirtmiştir. Ayrıca araştırmacılar 100–150 MPa aralığındaki

basıncın uygulamasının katepsin B1 aktivitesini artırdığını belirtmişlerdir.

Yüksek Basıncın Etlerde Lipid Oksidasyonu Üzerine Etkileri

YBU'nun en büyük dezavantajı; uygulama boyunca oksijen varlığını hesaba katmadan YBU'nun, sonraki aerobik depolama boyunca yağ oksidasyonunun artmasına neden olmasıdır. Et ve et ürünlerinde muhafaza süresini sınırlayan en önemli faktörlerden biri; yağlarda meydana gelen oksidasyondur. YBU, indirgenmiş durumda olan myogloblin ve oksimiyogloblinin, ferrik (Fe^{+3}) forma dönüşmesine neden olmaktadır. Böylece demirin etkisiyle yağ oksidasyonu katalizlenmektedir (Cheah ve Ledward 1996).

Chevalier vd. (2001) 4°C'de 15 dk 100, 140, 180 ve 200 MPa basınç uyguladıkları kalkan balığı filetolarında lipid oksidasyonunun basınç seviyesi ve süresinden etkilendiğini, özellikle de oksidasyonun 180 MPa basınçtan itibaren arttığını belirtmişlerdir. Cheah ve Ledward (1997) domuz eti kıymasına oda sıcaklığında 300 MPa üzerinde uygulanan basıncın lipid oksidasyonunu önemli derecede katalizlediğini tespit etmişlerdir.

Balık yağları oksidasyona etlerden daha yatkındırlar. Çünkü balık yağları yüksek oranda doymamış yağ içermektedirler ve böylece basıncın neden olduğu oksidatif değişiklikler çok daha önemli olabilmektedir. Angsupanich ve Ledward (1998) basınç uygulanmamış morina balığına kıyasla 200 MPa 20 dk basınç uygulanan balıkların başlangıç TBA sayısında çok az değişme belirlemişlerdir. Fakat basıncın 400 MPa 20 dk uygulanması durumunda TBA değeri önemli ölçüde artmıştır. Modifiye atmosferde (%100 azot) ambalajlanan balıklarda da TBA değeri 600 ve 800 MPa basınçlarda önemli oranda artmıştır. Sonuç olarak araştırmacılar 400 MPa üzerindeki basınçlarda lipid oksidasyonunun metal iyonların serbest kalması nedeniyle artış gösterdiğini belirtmişlerdir.

Cheah ve Ledward (1996) 200 MPa'a kadar uygulanan basıncın domuz kıymasında lipid oksidasyonunu etkilemediğini, fakat 400 MPa ve üzeri basınçların lipid oksidasyonunu önemli oranda artırdığını belirtmişlerdir. Modifiye atmosferde (%100 azot) ambalajlama uygulanan örneklerde ise 800 MPa'a kadar uygulanan basıncın lipid oksidasyonunu çok fazla etkilemediği, fakat 4°C'de 5 gün depolama sonucu lipid oksidasyonunun 300 MPa ve üzeri basınçlarda önemli derecede arttığını belirtmişlerdir. Sonuç olarak; 300 MPa altındaki basınç uygulamaları lipid oksidasyonu üzerinde çok az etkiye sahip iken, bu seviye üzerindeki basınçlar orantılı olarak oksidasyonu artırmaktadır.

Beltran vd. (2003) 500 MPa basıncın, kıyım haline getirilmiş tavuk göğüs etinde 90°C'de 15 dk

haşlayarak pişirmeden daha az oksidasyona neden olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca basınç uygulanan tavuk eti örneklerinin lipid oksidasyonunun hücre membranı ile ilgili olduğunu belirtmişlerdir.

Yüksek Basıncın Et Rengi Üzerindeki Etkileri

Yüksek basıncın proteinler üzerinde etkili olması nedeniyle, protein yapısında myoglobini etkileyerek renk üzerinde önemli değişimlere yol açabilmektedir. Carlez vd. (1995) vakum ambalajlanmış sığır kıymasına 10 dk 10°C'de YB uygulamışlar ve L* renk değerlerinin 200–350 MPa aralığında önemli bir şekilde arttığını, rengin pembeye dönüştüğünü belirlemişlerdir. 400–500 MPa aralığında a* değerlerinin azaldığını ve rengin gri-kahverengiye dönüştüğünü belirlemişlerdir. Cheah ve Ledward (1997) sığır *Longissimus dorsi* ve *Psoas major* kaslarına 20 dk uygulanan 80–100 MPa basıncın renk stabilitesini geliştirdiğini, ancak kesimden 7–20 gün sonra uygulanan basıncın, renk stabilitesi üzerine herhangi bir etkiye sahip olmadığını belirtmişlerdir.

Yapılan başka bir çalışmada, 20 dk 600 MPa YBU'nun sosis hamurlarında L* değerini artırdığı, a* ve b* değerlerini ise azalttığı belirlenmiştir (Hajós vd. 2004). Araştırmacılar bu renk değişimini myoglobinin denatürasyonu ve ferrous (Fe⁺²) myoglobinin ferrik (Fe⁺³) metmyoglobine oksidasyonu veya haem yer değiştirmesi/serbest kalması ile açıklamışlardır. Jung vd. (2000c) 520 MPa'da 260 sn 10°C'de uygulanan basıncın, etin L*, a* ve b* değerlerinde artışa neden olduğunu belirlemişlerdir. Jung vd. (2003) a* değerindeki değişimin nedenini, myoglobin pigmentlerinin içeriği ve özellikle metmyoglobin oluşumuna bağlamışlardır. Araştırmacılar basınç uygulamasından sonra bile a* değeri ile metmyoglobin arasında ilişkinin devam ettiğini bildirmişlerdir.

Yüksek Basıncın Etin Mikrobiyolojik Kalitesi Üzerine Etkileri

Et mikroorganizmaların gelişimi için oldukça zengin bir ortamdır. YBU'nun mikroorganizma inaktivasyon kinetiği ve oranı; basınç seviyesi ve süresi, sıcaklık, pH, su aktivitesi ve gıda bileşenleri gibi farklı parametrelere bağlıdır. Mikroorganizma türü de önemli değişikliklere sebep olmaktadır (Hugas vd. 2002). Genelde ısıya dirençli olan mikroorganizmalar aynı zamanda basınca karşı da dirençlidirler. Mayalar ve küfler gibi ökaryotların vejetatif formları 200–300 MPa aralığındaki basınçlar ile inaktive edilebilmektedir. Sporlar YBU'na karşı oldukça dirençli olmakla birlikte, Gram (+) bakteriler, Gram (-) bakterilerden ısıya ve basınca karşı daha dirençlidirler. Virüsler oldukça heterojendirler ve basınca dirençleri oldukça değişkendir (Smelt 1998; Hugas vd. 2002; Garriga

vd. 2004). Ancak gelişme fazında bakterilerin dirençleri önemli ölçüde azalmaktadır. Bununla birlikte hücre morfolojisi de basınç üzerinde etkiye sahiptir. Basiller koklara kıyasla basınca karşı daha duyarlıdır. Genelde inaktivasyon, basıncın artması ile artış göstermektedir (Hugas vd. 2002; Garriga vd. 2004). Mikroorganizmalar üzerine YBU'nun etkisinin asıl olarak; hücre membran geçirgenliği, iyon değişim modifikasyonları, yağ asidi kompozisyonları, ribozom morfolojisi, protein denatürasyonu, enzim aktivitesinin inhibisyonu ve vakuol oluşumu ile ilgili olduğu belirtilmektedir (Hugas vd. 2002). YBU ile birlikte, hücre zarı geçirgenliği artmakta, hücre içi bileşenleri parçalanmakta, hücrede enerji üreten reaksiyonlar inhibisyona uğramakta, hücre gelişmesi için gerekli enzimler inaktive olmakta ve gelişme için gerekli olan pH aralığı daralmaktadır (Hugas vd. 2002). YBU'nun *Camphylobacter jejuni*, *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteridis*, *Salmonella Typhimurium*, *Staphylococcus aureus* ve *Yersinia enterocolitica* gibi önemli gıda patojenlerine karşı etkili olduğu belirtilmiştir (Yuste vd. 2002; Hajós vd. 2004). Öte yandan bakteriler sporları basınca karşı oldukça dirençlidirler, inaktif hale gelebilmeleri için 1200 MPa üzerindeki basınca ihtiyaç duyabilmektedirler (Hendrickx vd. 1998).

Clostridium sporogenes'i inaktive etmek için 1000 MPa üzerindeki basınçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Oda sıcaklığında 1500 MPa basınç uygulandığında maksimum reduksiyonun 1,5 logaritmik birim olduğu belirtilmiştir. 600 MPa'da 60°C'de 60 dk basınç uygulanması durumunda *C. sporogenes*'te inaktivasyon sağlanamamıştır (Smelt 1998).

YBU ile mikrobiyal inaktivasyonda sıcaklık da önemli bir rol almaktadır. Optimum gelişme sıcaklıklarında, inaktivasyon yüksek ve düşük gelişme sıcaklıklarından daha az olmaktadır. Çünkü membran geçirgenliği optimum gelişme sıcaklığı dışındaki sıcaklıklarda kolaylıkla bozulabilmektedir (Hugas vd. 2002; Garriga vd. 2004). Nitekim YBU'ndan önce hücreye soğuk şoklama yapıldığında basınca karşı hücrenin direncinin arttığı belirtilmiştir. YBU öncesi düşük sıcaklığa adaptasyon gösteren hücre zarı, yapısındaki yağ asitlerinin dallanmasına ve zincir uzunluğunun azalmasına neden olmakta ve yüksek basınca karşı direnci artırmaktadır. Ayrıca soğuk şoklamaya uğrayan proteinler de yüksek basınca karşı hücrenin direncini artırmaktadır (Hugas vd. 2002).

Cheffel ve Culioli (1997) uygulanacak basınç seviyesinin ürün tipine bağlı olarak değiştiğini ve mikrobiyolojik inaktivasyon için etlere uygulanacak basıncın 400–600 MPa'da (1–10 dk ve 50–70°C) etkin sonuçlar verebileceğini bildirmişlerdir. Hajós vd. (2004), 20 dk 600 MPa basınç uyguladıkları sosis

hamurunun doğal mikroflorasında toplam canlı hücre sayısında 3 logaritmik birimden fazla redüksiyon sağlamışlardır. Araştırmacılar ayrıca *L. monocytogenes* ile inoküle ettikleri hamurda USDA-FSIS tarafından talep edilen 5 logaritmik birimlik redüksiyonu, belirtilen YBU ile sağlamışlardır.

Bazı durumlarda mikrobiyal inaktivasyon için basınç uygulama süresinin basınç seviyesinden daha önemli bir değişken olduğu belirtilmiştir. Yuste vd. (1999) yaptıkları çalışmada 350 MPa'da 30 dk uygulamanın, 400 MPa'da 5 ile 10 dk uygulamadan daha fazla bir mikrobiyal redüksiyon sağladığını belirtmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar *L. innocua* üzerine YBU'nun önemli bir bakterisidal etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir. 2°C'de 400 MPa'da 30 dk ve 10°C'de 450 MPa'da 10 dk basınç uygulanan kanatlı etlerinde 8 logaritmik birim gibi oldukça yüksek bir redüksiyon belirlemişlerdir. Ayrıca mezofilik bakteriler için 400, 450 ve 500 MPa basınçta 2°C'de 4,19 logaritmik birimlik redüksiyon tespit etmişlerdir.

Moerman vd. (2001) basınç uygulama sıcaklığının minimum 65°C olması durumunda, 400 MPa basınçta büyük ölçüde sterilitenin sağlanabileceğini belirtmiştir. Ticari sterilite (12 logaritmik birimlik) gıdanın pH'sı yüksek olması durumunda sağlanamamaktadır. Fakat düşük asitli gıdalarda YBU'nun çok başarılı olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak belli bir derecede ticari sterilite sağlamak için en az 400 MPa basıncın 50°C'de 30 dk boyunca uygulanması gerektiği belirtilmiştir. 65–75°C gibi yüksek sıcaklıklarda 250–350 MPa'lık basınçların belirli bir pastörizasyon etkiye ulaşmak için yeterli olduğu da bildirilmiştir (Moerman vd. 2001).

Garriga vd. (2004) dilimlenmiş ve vakum uygulanarak ambalajlanmış sığır filetosuna 600 MPa 6 dk YBU ile aerobik, psikrotrofik ve laktik asit bakteri sayısında en az 4 logaritmik birimlik oldukça önemli bir redüksiyon sağlamışlardır. Ayrıca *Enterobacteriaceae* sayısında yaklaşık 3 logaritmik birimlik azalma kaydetmişlerdir. Jung vd. (2003), 130 MPa basınç uygulaması sonrasında örneklerin toplam florasının kontrol grubunun toplam florasına benzediğini, fakat 520 MPa basınç uygulaması neticesinde 2,5 logaritmik birimlik azalma sağladıklarını belirtmişlerdir. Beltran vd. (2003) basıncın bakteri hücrelerine zarar vererek, nisin ve diğer antimikrobiyal bileşiklerin etkinliğini artırdığını belirtmiştir.

Yüksek Basıncın Faz Değişimi Üzerine Etkileri

Etin dondurularak muhafazası oldukça etkili muhafaza yöntemlerinden biridir. Et ve et ürünlerinin dondurulmasında donma hızı oldukça önem taşımaktadır. Çünkü donma hızı kalite üzerinde etkili

olan faktörlerin başında gelmektedir. Özellikle yavaş dondurma sırasında oluşan buz kristallerinin hacmi, dokuya zarar verebilmektedir (Gökalp vd 2000). Su atmosferik basınçta dondurulduğu zaman, hacmi artacak ve suya kıyasla buzun yoğunluğu azalacaktır. Örneğin 0 °C'deki dondurma işlemi %9, -20 °C'deki dondurma işlemi ise %13'lük bir hacim artışına yol açmaktadır (Li ve Sun 2002). Dolayısıyla hacimdeki bu artış, dondurma esnasında dokulara zarar verecektir. YBU ile dokuya verilen zarar önemli ölçüde azaltılabilmektedir (Zhao vd. 1998; Li ve Sun 2002). Buz kristallerinin oluşumu ise basınç seviyesi ve sıcaklık derecesiyle yakından ilişkilidir. 200 MPa'da -20 °C'ye kadar faz geçişi gözlenmemektedir. Bu nokta kritik olup -20 °C'nin altında buz kristalleri oluşmakta ve bu noktada faz geçişi görülmektedir. 200 MPa'dan daha düşük seviyedeki veya daha yüksek seviyedeki basınç uygulamalarında ise, daha yüksek sıcaklıklarda buz kristalleri oluşabilmektedir. Örneğin, 600 MPa'da yaklaşık 0 °C'de buz kristalleri oluşabilmektedir (Li ve Sun 2002). Suyun donma noktası basınç 210 MPa'a kadar artırıldığında azalmaktadır, bu noktada buz faz değiştirmekte ve donma noktası yükselmektedir. Bu yüzden YBU altında suyun donmaması kısmi çözünme için önemli bir potansiyel sunmaktadır (Zhao vd. 1998).

Et ve et ürünlerinin dondurulması kadar çözündürülmesi işlemi de etin kalitesi üzerine önemli derecede etkili olmaktadır. Zhao vd. (1998) YBU'nun donmuş sığır etinin çözündürme süresini kısalttığını ve büyük parça etlerin çözündürülmesinde çok önemli avantajlara sahip olabileceğini bildirmişlerdir.

Sonuç olarak YBU, ete kazandırdığı özelliklerin yanı sıra ürün çeşidini de artırmaktadır. Dolayısıyla et teknolojisindeki önemi her geçen gün artmaktadır. Ancak yöntemin toksik etkisinin olup olmadığı hakkında yeterli literatür bulunmamaktadır. Bu nedenle yeni araştırmaların yapıp konunun net olarak aydınlatılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Angsupanich, K., Ledward, D.A., 1998. High Pressure Treatment Effects on Cod (*Gadus morhua*) Muscle. Food Chemistry, 63: 39–50.
- Beltran, E., Pla, R., Yuste, J., Mor-Mur, M., 2003. Lipid Oxidation of Pressurized and Cooked Chicken: Role of Sodium Chloride and Mechanical Processing on TBARS and Hexanal Values. Meat Science, 64: 19–25.
- Bertram, H.C., Whittaker, A.K., Shorthose, W.R., Andersen, H.J., Karlsson, A.H., 2004. Water Characteristics in Cooked Beef as Influenced by Ageing and High-Pressure Treatment-an NMR Micro Imaging Study. Meat Science, 66: 301–306.
- Carballo, J., Cofrades, S., Solas, M.T., Jiménez-Colmenero, F., 2000. High Pressure/Thermal Treatment of Meat Batters Prepared from Freze-Thawed Pork. Meat Science, 54: 357–364.

- Carlez, A., Veciana-Nogues, T., Cheftel, J.-C., 1995. Changes in Colour and Myoglobin of Minced Beef Meat due to High Pressure Processing. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, 28: 528-538.
- Cheah, P.B., Ledward, D.A., 1996. High Pressure Effects on Lipid Oxidation in Minced Pork. *Meat Science*, 43: 123-134.
- Cheah, P.B., Ledward, D.A., 1997. Inhibition of Metmyoglobin Formation in Fresh Beef by Pressure Treatment. *Meat Science*, 45: 411-418.
- Cheftel, J.C., Culioli, J., 1997. Effects of High Pressure on Meat: A Review. *Meat Science*, 46: 211-236.
- Crehan, C.M., Troy, D.J., Buckley, D.J., 2000. Effects of Salt Level and High Hydrostatic Pressure Processing on Frankfurters Formulated with 1,5 and 2,5% Salt. *Meat Science*, 55: 123-130.
- Chevalier, D., Le Bail, A., Ghoul, M., 2001. Effects of High Pressure Treatment (100-200 MPa) at Low Temperature on Turbot (*Scophthalmus maximus*) Muscle. *Food Research International*, 34: 425-429.
- Garriga, M., Grèbol, N., Aymerich, M.T., Monfort, J.M., Hugas, M., 2004. Microbial Inactivation after High-Pressure Processing at 600 MPa in Commercial Meat Products over its Shelf Life. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5: 451-457.
- Gökalp, H.Y., Kaya, M., Zorba, Ö., 2000. Et Ürünleri İşleme Mühendisliği. Atatürk Üniversitesi Yayınları.
- Hajós, Gy., Polgár, M., Farkas, J., 2004. High-Pressure Effects on IgE Immunoreactivity of Proteins in a Sausage Batter. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5: 443-449.
- Hendrickx, M., Ludikhuyze, L., Van den Broeck, I., Weemaes, C., 1998. Effects of High Pressure on Enzymes Related to Food Quality. *Trends in Food Science & Technology*, 9: 197-203.
- Homma, N., Ikeuchi, Y., Suzuki, A., 1994. Effects of High Pressure Treatment on the Proteolytic Enzymes in Meat. *Meat Science*, 38: 219-228.
- Hsu, K.-C., Ko, W.-C., 2001. Effect of Hydrostatic Pressure on Aggregation and Viscoelastic Properties of Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Myosin. *J. of Food Science*, 66: 1158-1162.
- Hugas, M., Garriga, M., Monfort, J.M., 2002. New Mild Technologies in Meat Processing: High Pressure as a Model Technology. *Meat Science* 62: 359-371.
- Ikeuchi, Y., Tanji, H., Kim, K., Suzuki, A., 1992. Mechanism of Heat-Induced Gelation of Pressurized Actomyosin: Pressure-Induced Changes in Actin and Myosin in Actomyosin. *J. Agric. Food Chem.*, 40: 1756-1761.
- Jiménez-Colmenero, F., Cofrades, S., Carballo, J., Fernández, P., Fernández-Martín, F., 1998. Heating of Chicken and Pork Meat Batters under Pressure Conditions: Protein Interactions. *J. Agric. Food Chem.*, 46: 4706-4711.
- Jiménez Colmenero, F., 2002. Muscle Protein Gelation by Combined Use of High Pressure/Temperature. *Trends in Food Science & Technology*, 13: 22-30.
- Jung, S., de Lamballerie-Anton, M., Ghoul, M., 2000a. Modifications of Ultrastructure and Myofibrillar Proteins of Post-rigor Beef Treated by High Pressure. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, 33: 313-319.
- Jung, S., de Lamballerie-Anton, M., Taylor, R.G., Ghoul, M., 2000b. High-Pressure Effects on Lysosome Integrity and Lysosomal Enzyme Activity in Bovine Muscle. *J. Agric. Food Chem.*, 48: 2467-2471.
- Jung, S., Ghoul, M., de Lamballerie-Anton, M., 2000c. Changes in Lysosomal Enzyme Activities and Shear Values of High Pressure Treated Meat During Ageing. *Meat Science*, 56: 239-246.
- Jung, S., Ghoul, M., de Lamballerie-Anton, M., 2003. Influence of High Pressure on the Color and Microbial Quality of Beef Meat. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, 36: 625-631.
- Kamiyama, K., Ikeuchi, Y., Suzuki, A., Kim, K., Hayashi, T., Ito, T., 2001. An Immunological Assessment of Myosin Degradation in Pressurized Chicken Muscle. *J. of Food Science*, 66: 1126-1129.
- Karakaya, M., Caner, C., Sarıçoban, C., 2004. Et Teknolojisinde Yüksek Hidrostatik Basınç Kullanımı. Türkiye 8. Gıda Kongresi, 26-28 Mayıs, Bursa, Türkiye.
- Knorr, D., 1993. Effects of High-Hydrostatic-Pressure Processes on Food Safety and Quality. *Food Technology*, June, 156-161.
- Ko, W.-C., Jao, C.-L., Hwang, J.-S., Hsu, K.-C., 2006. Effect of High-Pressure Treatment on Processing Quality of Tilapia Meat Fillets. *J. of Food Engineering*, 77:1007-1011.
- Li, B., Sun, D.-W., 2002. Novel Methods for Rapid Freezing and Thawing of Foods- A Review. *J. of Food Engineering*, 54: 175-182.
- Ma, H.-J., Ledward, D.A., 2004. High Pressure/Thermal Treatment Effects on the Texture of Beef Muscle. *Meat Science*, 68: 347-355.
- Moerman, F., Mertens, B., Demey, L., Huyghebaert, A., 2001. Reduction of *Bacillus subtilis*, *Bacillus stearothermophilus* and *Streptococcus faecalis* in Meat Batters by Temperature-High Hydrostatic Pressure Pasteurization. *Meat Science*, 59: 115-125.
- Smelt, J.P.P.M., 1998. Recent Advances in the Microbiology of High Pressure Processing. *Trends in Food Science & Technology*, 9: 152-158.
- Ueno, Y., Ikeuchi, Y., Suzuki, A., 1999. Effects of High Pressure Treatments on Intramuscular Connective Tissue. *Meat Science*, 52: 143-150.
- Yetim, H., Kesmen, Z., Kayacier, A., 2003. Et Endüstrisinde Yüksek Basınç Uygulamaları. 3. Gıda Mühendisliği Kongresi, 2-4 Ekim 2003, Ankara, Türkiye.
- Yuste, J., Mor-Mur, M., Capellas, M., Pla, R., 1999. *Listeria innocua* and Aerobic Mesophiles during Chill Storage of Inoculated Mechanically Recovered Poultry Meat Treated with High Hydrostatic Pressure. *Meat Science*, 53: 251-257.
- Yuste, J., Pla, R., Capellas, M., Mor-Mur, M., 2002. Application of High-Pressure Processing and Nisin to Mechanically Recovered Poultry Meat for Microbial Decontamination. *Food Control*, 13: 451-455.
- Zhao, Y., Flores, R.A., Olson, D.G., 1998. High Hydrostatic Pressure Effects on Rapid Thawing of Frozen Beef. *J. of Food Science*, 63: 272-275.